

Variabilidad mensual de la velocidad de surgencia y clorofila a en la región del Panama Bight

Nancy Villegas,¹ Igor Málikov,² Diana Díaz^{3*}

¹Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Departamento de Geociencias. Grupo de Investigación en Oceanología CENIT. Av. Carrera 30 N° 45-03 Bogotá D. C., Colombia.

²Grupo de Investigación en Oceanología CENIT. Av. Carrera 30 N° 45-03 Bogotá D. C., Colombia.

³Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Facultad de Ciencias Naturales e Ingeniería, Departamento de Ciencias Básicas y Modelado. Grupo de Investigación Modelado y Simulación de Sistemas. Carrera 4 N° 22-61 Bogotá D. C., Colombia. * Autor para correspondencia: dianac.diaz@utadeo.edu.co

RESUMEN

Las zonas de surgencia y la presencia de clorofila a en la región del Panamá Bight (golfo de Panamá) fueron comparadas en una escala mensual. Las variables utilizadas fueron la velocidad vertical de surgencia estimada mediante el software EVA. V.2.0 y la concentración de clorofila a obtenida de imágenes satelitales SeaWiFS. El estudio fue realizado para el área costera entre 6° 30' y 2° N y en los tres principales focos de ascenso de agua, el primero ubicado entre 83-84° W y 1° 30'-2° 30' N, el segundo entre 81-82° W y 1° 30'-2° 30' N, y el tercero entre 82-83° W y 2° 30'-3° 30' N. Los resultados muestran la asociación directa entre la concentración de clorofila a y la surgencia durante todo el año. El estudio también resalta que el desplazamiento de la zona de convergencia intertropical ZCIT determina la variabilidad estacional del proceso de ascenso, atenuándolo cuando pasa sobre el área de estudio y reforzándolo mientras se aleja. El análisis de correlación entre las variables bajo estudio dio como resultado coeficientes estadísticamente significativos entre 0.5 y 0.9 en los tres focos principales y valores no significativos en la zona costera.

Palabras clave: afloramiento, Pacífico colombiano, ZCIT, imágenes satelitales.

Editor: Hernández Fernández, J.
javier.hernandez@utadeo.edu.co

Citation: Villegas, N., Málikov, I., & Díaz, D. (2016). Variabilidad mensual de la velocidad de surgencia y clorofila a en la región del Panama Bight. *Mutis* 6(2), 82-94, doi: <http://dx.doi.org/10.21789/22561498.1153>

Received: Junio 05, 2016. **Accepted:** Junio 30, 2016. **Published on line:** Septiembre 30, 2016.

Copyright: ©2016 Villegas, N., Málikov, I., Díaz, D. This is an open-access article, which permits unrestricted use, distributions and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

Competing Interests: The authors have no conflict of interest.

Monthly rate variation upwelling and chlorophyll a in the region of Panama Bight

ABSTRACT

The influence of the migration of the ITCZ on the climatic variability of the upwelling vertical velocity (V_z) and the spatial-temporal behavior of upwelling spots over the CPO was determined. This influence was corroborated by the presence of chlorophyll a in the upwelling zones. V_z values were calculated with EVA . V.2.0 software. The chlorophyll a content was extracted from satellite



images for 1997-2000. A comparison between the upwelling zones distribution, the migration of ITCZ and chlorophyll *a* was made. This comparison was based on the correlation between variables of three upwelling focuses and a coastal upwelling. The first focus was located between 83-84° W and 1° 30'-2° 30' N, the second one between 81-82° W and 1° 30'-2° 30' N, the third between 82-83° W and 2° 30'-3° 30' N. Upwelling coastal zone was located on 6° 30' and 2° N. This work showed that while the ITCZ is far from the CPO, the upwelling is favored. It was determined that, when the ITCZ is on the region, the upwelling is attenuated due to weak winds. It was corroborated that chlorophyll *a* concentration is high in every month throughout coastal upwelling and around three upwelling focuses.

Keywords: upwelling, Colombian Pacific Ocean, ITCZ, satellite images.

INTRODUCCIÓN

El estudio de los movimientos verticales del agua en la Cuenca del Pacífico Colombiano (CPC) se inició a finales de la década de los 90 teniendo en cuenta valores obtenidos en cruceros oceanográficos. Villegas (1997a, 2001), por ejemplo determinó la existencia de zonas de ascenso de aguas con el cálculo de las corrientes verticales de surgencia (V_z) y se comparó los resultados con la presencia de valores bajos de temperatura superficial del mar (TSM). Por su parte, autores como Devis *et al.* (2002, 2008) y Rodríguez-Rubio *et al.* (2002, 2003), han estudiado la relación entre el campo de vientos y la dinámica de la CPC, así como la variabilidad de pigmentos fotosintéticos utilizando información satelital. En la CPC también se ha estudiado la dinámica de las zonas de surgencia en algunos años que representan diferentes fases de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) (Villegas, 1997b) y se ha evaluado la influencia de la migración de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) en sus variaciones espacio-temporales (Díaz *et al.*, 2008, 2009). Hasta el momento los trabajos mencionados no han evaluado la relación entre la concentración de clorofila *a* y la velocidad vertical en los focos de surgencia identificados.

La comparación de la velocidad de surgencia y la concentración de clorofila *a* es importante porque ayuda a identificar y describir la dinámica de zonas

que tengan mayor abundancia de especies objetivo de pesca, al localizarse estas justamente en regiones con mayor concentración de clorofila *a* y ascenso de agua ya que les brindan las mejores opciones de alimentación; así mismo, el comprender la dinámica de los ecosistemas marinos de la región que ayuda a favorecer su preservación y proteger las especies y hábitats sensibles.

MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de estudio (figura 1) es el área comprendida entre 1° 30'-7° 10' N y 77° 40'-82° 00' W, ubicada dentro de la denominada región del Panama Bight (golfo de Panamá) o también conocida a nivel local como Cuenca del Pacífico Colombiano (CPC).

Los cálculos de los valores de las corrientes verticales de surgencia (V_z) se basaron en la integración de la ecuación de continuidad a través del software EVA.2 elaborado para la CPC (Villegas y Málikov, 2008). Como información inicial para el cálculo de V_z se tomaron valores mensuales multianuales de la temperatura del mar (T), salinidad (S), presión atmosférica (Pa) y superficie libre del mar (SLM) de la CPC obtenidos del Modelo Termo-Dinámico 3D de la CPC descrito en Villegas y Málikov (2006, 2009), la ventana de tiempo fue 1971-2000.

Los valores de V_z en la capa 0-10 metros se graficaron para identificar los focos y zonas de surgencia mes a mes. Por otra parte, también se graficaron los campos de viento para identificar la influencia de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) en el desplazamiento de los focos identificados durante todo el año. Los valores de velocidad del viento fueron tomados del National Center for Atmospheric Research (NCAR, 2015) para el mismo período de tiempo. Finalmente, se analizó de forma cualitativa en cada foco de surgencia la relación entre la intensidad de V_z y la concentración de clorofila *a*. Las imágenes de clorofila *a* fueron tomadas del proyecto Sea Wifs de la National Aeronautics and Space Administration (NASA, 2015).

Luego de visualizar los datos de V_z , y clorofila *a*, el siguiente paso fue identificar la localización de los principales focos de surgencia y para estas mismas coordenadas obtener los datos de clorofila *a* del programa Griddap de la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, 2015) asociado

al Environmental Research Division's Data Access Program (ERDDAP), que es un servicio que ofrece la NOAA para la distribución de datos científicos. La dinámica de los valores mensuales multianuales de ambas variables se comparó para un período común

entre 1997 y 2000. Finalmente, con base en los datos promedio de los focos fue realizado un análisis de correlación entre Vz y clorofila *a* para el mismo período 1997-2000.

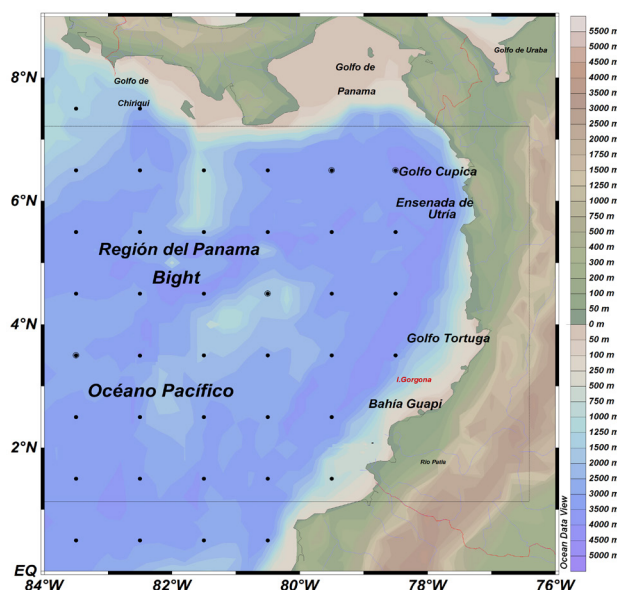


Figura 1. Área de estudio ubicada dentro de la región del Panamá Bight. La escala de colores representa la batimetría de la zona

RESULTADOS

Las figuras 2 a 13 muestran la relación visual entre el campo de viento asociado al paso de la ZCIT, la distribución de las zonas de surgencia y la concentración de clorofila *a* sobre el área de estudio. En las gráficas de clorofila *a* (1997-2000) y zonas de surgencia, las líneas punteadas negras indican los valores negativos de Vz (ascenso) y las líneas continuas negras muestran los valores positivos de Vz (descenso). Durante el año, la distribución espacial de los focos de surgencia obedece principalmente a la inestabilidad de los vientos, característica de los sistemas atmosféricos localizados sobre la CPC. El comportamiento de los vientos divide en etapas al comportamiento de Vz en la región.

Durante los primeros cuatro meses del año la ZCIT se desplaza sobre la CPC, en el sector norte los vientos provienen del norte y noreste, y en el sur, los vientos vienen desde el sur y suroeste. En marzo la ZCIT alcanza la posición más al sur de todo el año y, en abril, inicia su desplazamiento hacia el norte. Los frentes at-

mosféricos creados permiten no solo la generación de movimientos de surgencia sino también su desplazamiento y concentración hacia el centro de la CPC. En estos cuatro meses se registran las mayores dimensiones de áreas de surgencia sobre la CPC (figuras 2 a 5).

En abril (figura 5) en el sector norte se observa que los vientos del norte y noreste disminuyen en intensidad con respecto a los meses anteriores, dando lugar a un aumento de los vientos del sur, lo que indica que estos últimos empujan de regreso a la ZCIT hacia al norte. Esta dinámica comienza a partir de marzo, donde en el centro de la CPC se observa una depresión atmosférica que obstruye la intensificación de vientos impidiendo movimientos de ascenso de aguas, lo que podría explicar la división de la zona de surgencia en este mes dejando una, localizada al noreste y otra, al suroeste de la región. La distribución de las zonas de surgencia en abril se encuentra ligada al avance de la ZCIT hacia el norte de la región, lo cual permite que haya mayor concentración e intensidad de zonas de surgencia en el sur de la CPC. Al igual que en febrero y marzo, en el mes de abril la mayor velocidad de ascenso se encuentra al sureste.

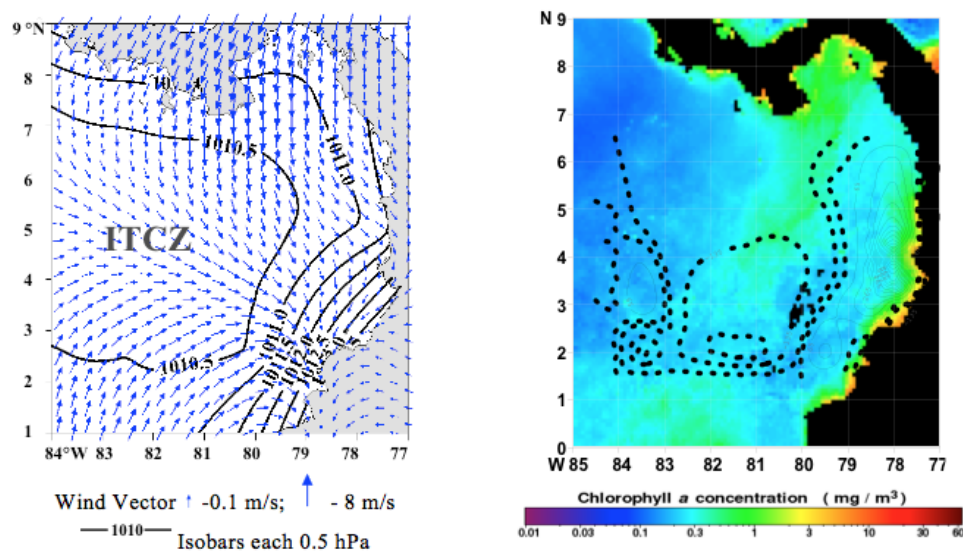


Figura 2. Campo de vientos, clorofila *a* (1997-2000) y zonas de surgencia (1971-2000) sobre la CPC en enero

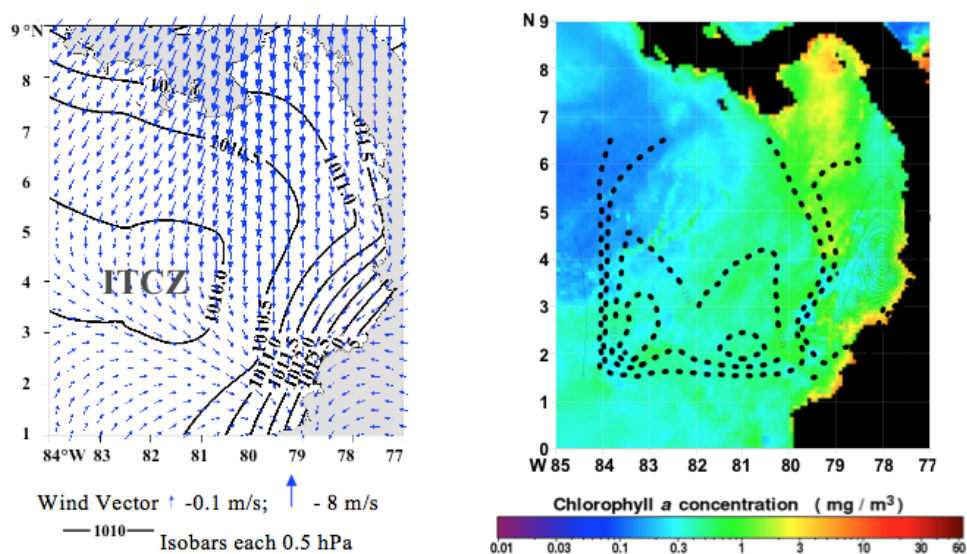


Figura 3. Campo de vientos, clorofila *a* (1997-2000) y zonas de surgencia (1971-2000) sobre la CPC en febrero

En mayo (figura 6) las zonas de ascenso de aguas disminuyen sus dimensiones, la ZCIT pasa a lo largo del canal de Panamá, por eso los vientos se encuentran actuando sobre las latitudes 2°- 6° N desplazando aguas de oeste a este de la CPC, al mismo tiempo, empieza a disminuir el área de surgencia. En junio (figura 7), las áreas de surgencia siguen disminuyendo,

pero aumenta la intensidad de Vz en los focos principales. La ZCIT en este mes está más hacia el norte, localizando al núcleo de vientos sobre la CPC y, por lo tanto, estos son más intensos que en mayo con desplazamientos y ubicaciones similares, permitiendo continuar el aumento del foco de surgencia.

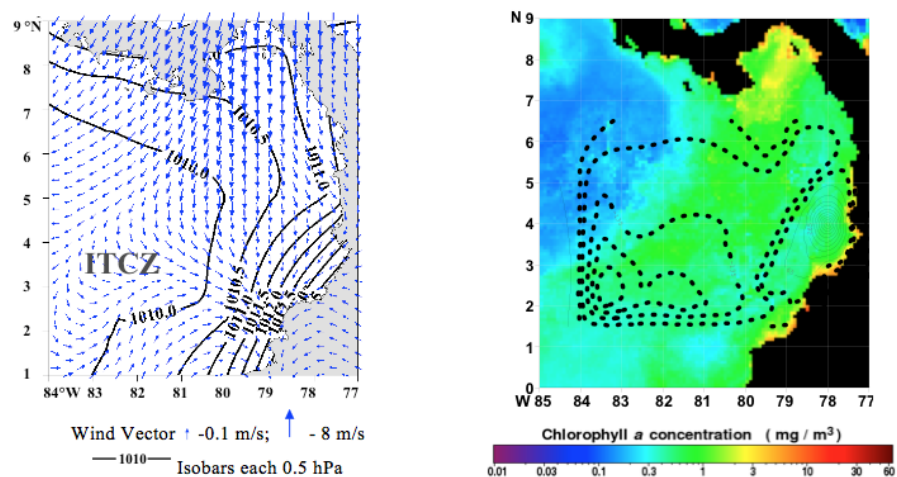


Figura 4. Campo de vientos, clorofila *a* (1997-2000) y zonas de surgencia (1971-2000) sobre la CPC en marzo

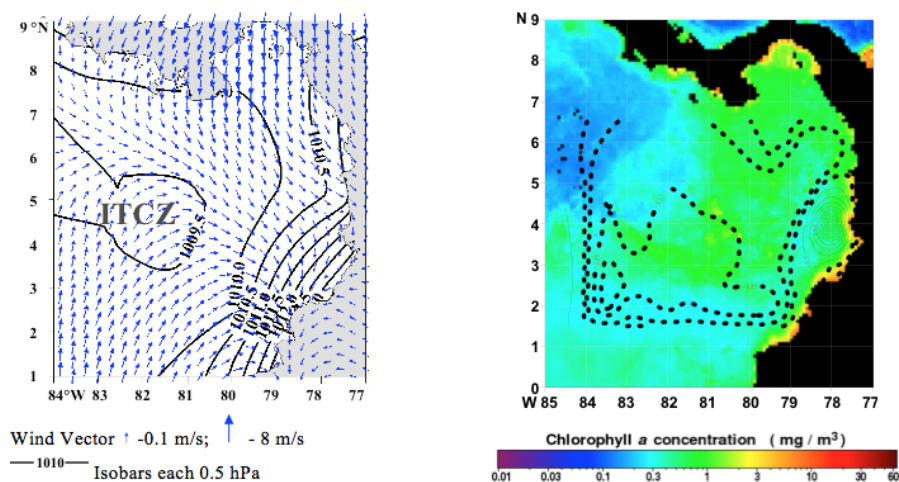


Figura 5. Campo de vientos, clorofila *a* (1997-2000) y zonas de surgencia (1971-2000) sobre la CPC en abril

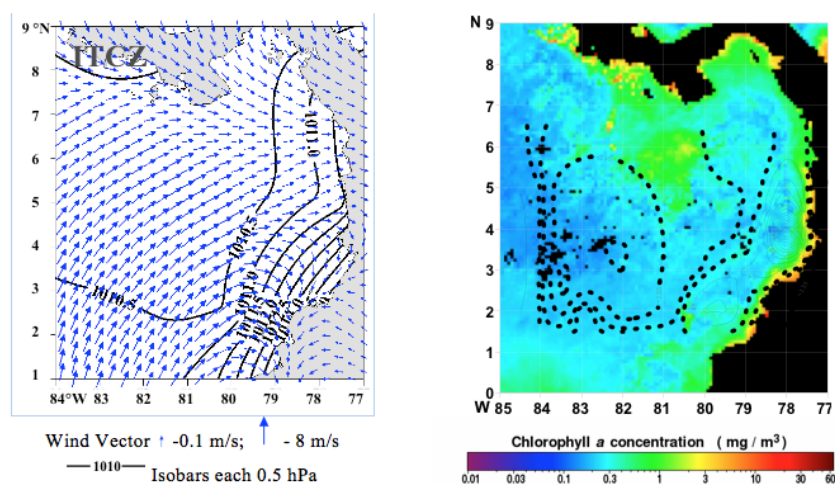


Figura 6. Campo de vientos, clorofila *a* (1997-2000) y zonas de surgencia (1971-2000) sobre la CPC en mayo

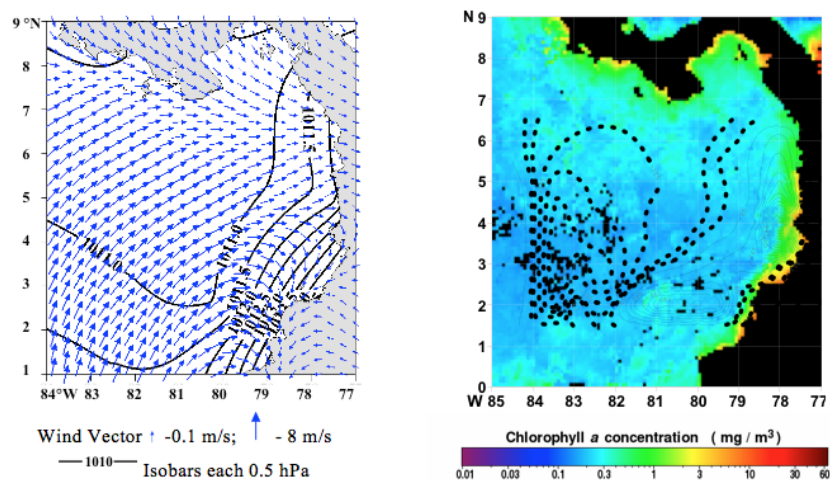


Figura 7. Campo de vientos, clorofila *a* (1997-2000) y zonas de surgencia (1971-2000) sobre la CPC en junio

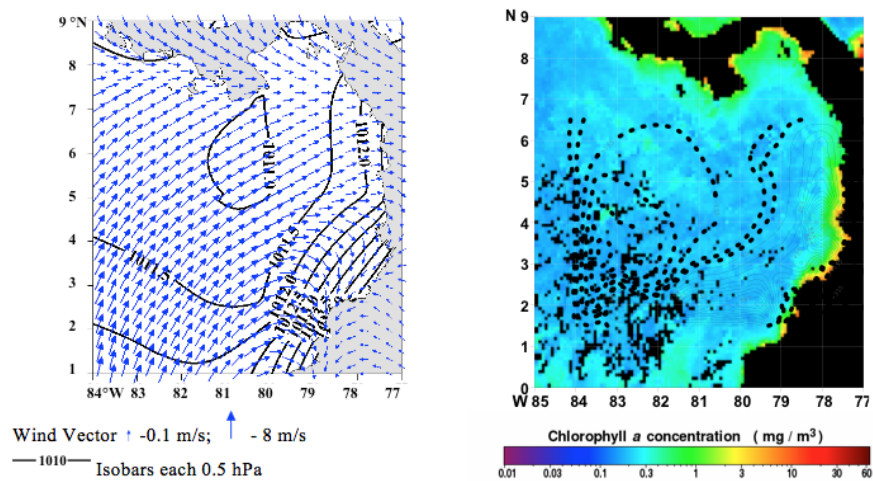


Figura 8. Campo de vientos, clorofila *a* (1997-2000) y zonas de surgencia (1971-2000) sobre la CPC en julio

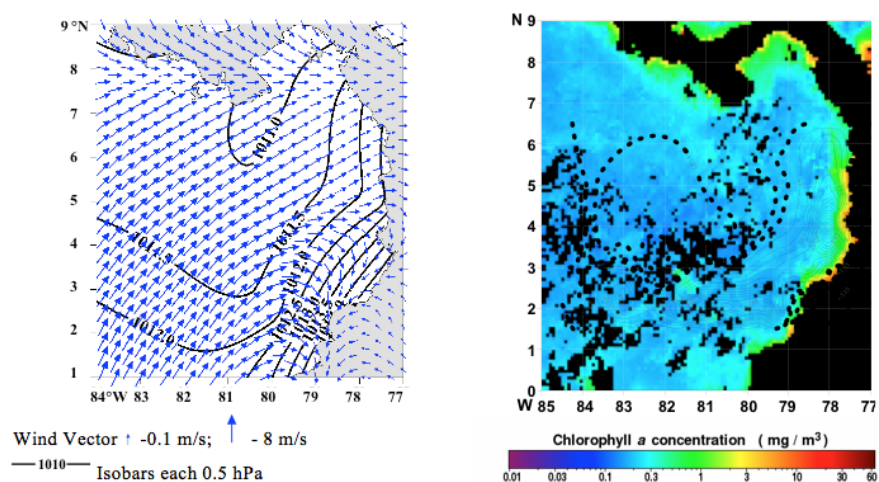


Figura 9. Campo de vientos, clorofila *a* (1997-2000) y zonas de surgencia (1971-2000) sobre la CPC en agosto

En julio (figura 8) se observa un comportamiento similar al de junio. Para agosto, septiembre y octubre (figuras 9, 10 y 11) las zonas de ascenso de aguas dejan de tener semejanza con los meses analizados. En estos tres meses el foco se desplaza hacia el centro

desde el occidente y subiendo desde el sur de la CPC, por los intensos vientos del suroccidente hacia el nororiente. En septiembre y octubre se registran los valores máximos de velocidad vertical de surgencia.

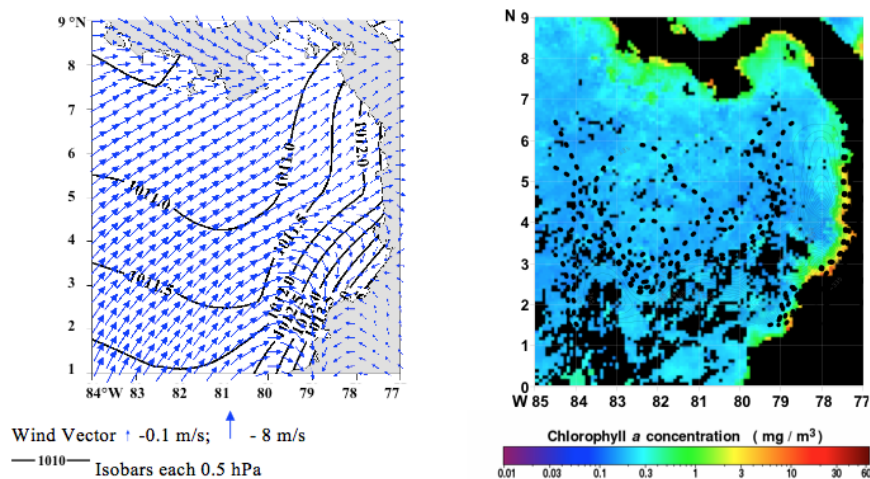


Figura 10. Campo de vientos, clorofila *a* (1997-2000) y zonas de surgencia (1971-2000) en la CPC en septiembre

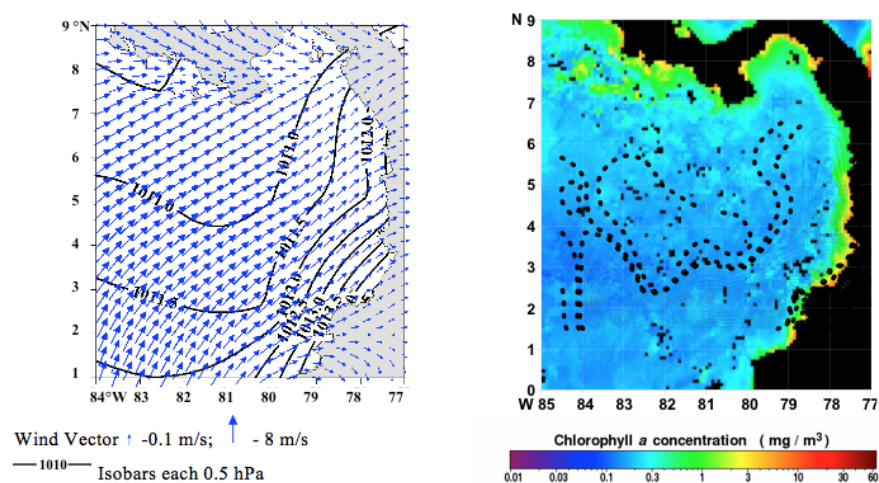


Figura 11. Campo de vientos, clorofila *a* (1997-2000) y zonas de surgencia (1971-2000) en la CPC en octubre.

En noviembre y diciembre (figuras 12 y 13), las zonas de surgencia nuevamente se extienden por varios sectores de la CPC debido al debilitamiento de los vientos desde el suroccidente, ya que la ZCIT empieza su entrada a la región y se registra la disminución de la intensidad de las velocidades verticales. En estos dos últimos meses del año la ZCIT inicia su regreso de norte a sur a la CPC y los vientos permiten que nuevamente haya ascensos de agua en la región de estudio.

En general, en la CPC se observan zonas de surgencia durante todo el año. Los ascensos de agua se perciben en todos los meses. Mientras la ZCIT se encuentra sobre la CPC, en este momento se observan mayores áreas de surgencia y, al contrario, cuando la ZCIT se encuentra fuera de la CPC, las zonas de surgencia disminuyen sus áreas, pero aumenta la intensidad de velocidad en los focos de surgencia.

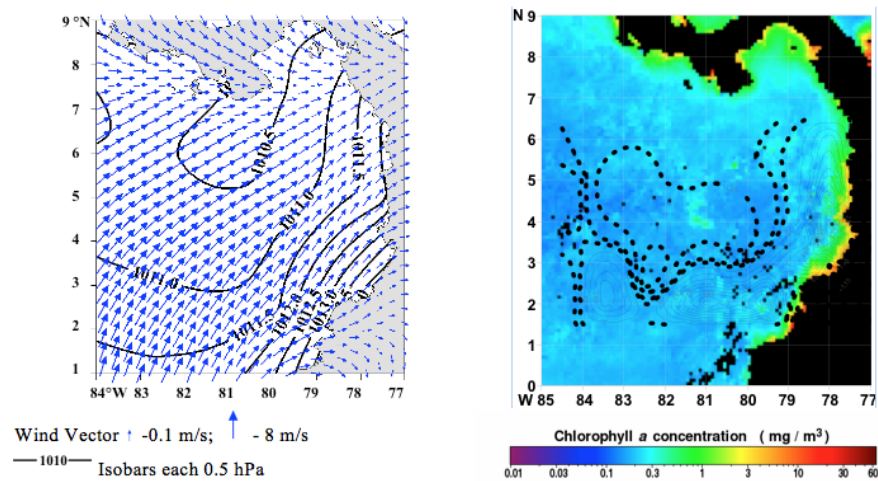


Figura 12. Campo de vientos, clorofila *a* (1997-2000) y zonas de surgencia (1971-2000) en la CPC en noviembre

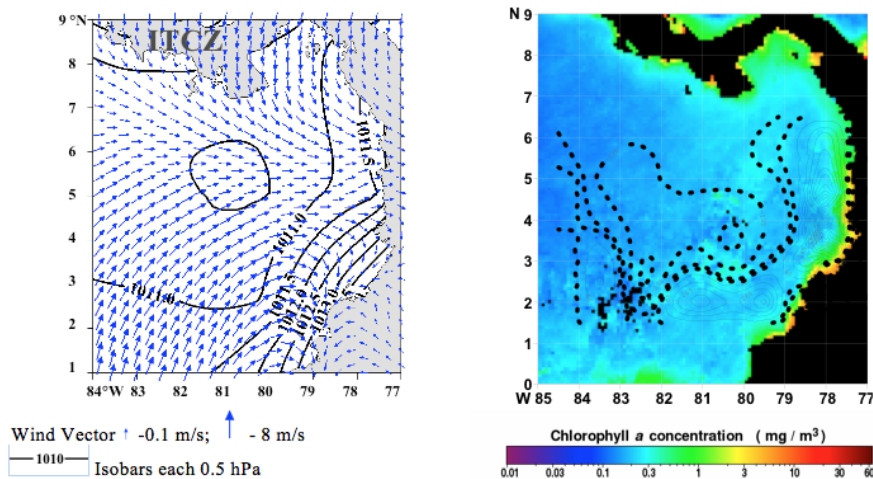


Figura 13. Campo de vientos, clorofila *a* (1997-2000) y zonas de surgencia (1971-2000) en la CPC en diciembre

Los vientos cerca de la costa entre enero y abril tienen dirección norte-sur. Desde el norte de la CPC hasta los 2° 40' N, los vientos ayudan a la surgencia en este sector. Entre 2° y 2° 40' N durante todo el año se observan vientos perpendiculares a la costa y hacia el norte, que obstaculizan a la surgencia en esta zona. Desde mayo hasta diciembre el comportamiento del viento sobre la costa no es favorable a la surgencia y solo se observa en forma ligera a lo largo de toda la costa, excepto en el sector entre los 2° y 2° 40' N. Esta surgencia puede ser formada por el factor baroclínico en la costa dado por la diferencia de densidades causadas por la afluencia de los ríos.

En resumen, de acuerdo con los resultados del cálculo Vz en la CPC, fueron determinadas cuatro zonas de surgencia que se observan durante todo el año. Las zonas de ascenso de aguas se encuentran alrededor de los focos de surgencia localizados en las siguientes coordenadas: el primero entre los 83 -84° W y 1° 30'-2° 30' N, el segundo entre los 81-82° W y 1° 30'-2° 30' N, el tercero entre los 82-83° W y 2° 30'-3° 30' N y, el último en el sector costero entre los 6° 30' y 2° N (figura 14).

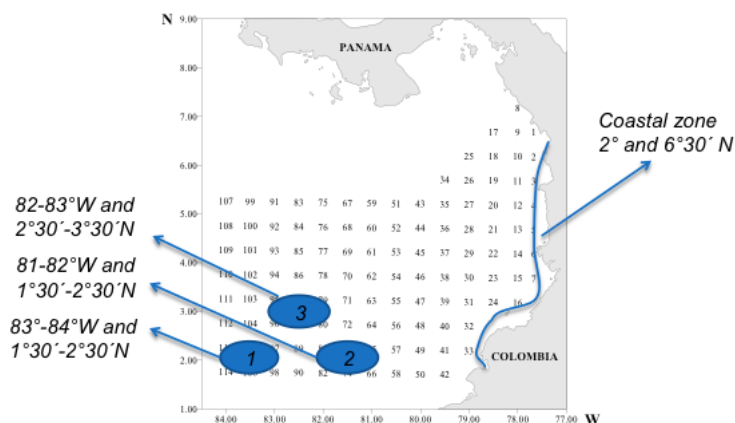


Figura 14. Focos de surgencia localizados de acuerdo con los resultados del cálculo V_z en la CPC

Con base en los promedios mensuales multianuales, se realizó la comparación observada en las figuras 15 y 16. Se puede ver que las oscilaciones de V_z y de clorofila *a* en el foco 1 (figura 15a) muestran un comportamiento monomodal. El pico máximo de clorofila *a* se aprecia en febrero, después los valores disminuyen y el mínimo se observa en noviembre. El pico mínimo de V_z se aprecia en abril, de allí la surgencia desaparece y el máximo de los valores de V_z se observa en octubre.

El foco 2 (figura 15b) presenta una imagen similar al foco 1, con una suavización de los parámetros analizados. También se observa una correlación opuesta, con el máximo de clorofila *a* en marzo y el mínimo en noviembre. Para V_z el mínimo se presenta

en abril y el máximo en septiembre. En el foco 3 V_z es negativa durante todo el año. El comportamiento de la clorofila *a* en el foco 3 (figura 16a) es parecido al de los primeros dos focos. El máximo de la clorofila *a* se observa en abril y el mínimo en octubre. Por su parte, el mínimo de V_z se aprecia en julio y el máximo en octubre.

En la costa, se observan valores negativos de V_z durante todo el año (figura 16b). El mínimo de V_z se observa en abril y el máximo entre agosto y octubre. El comportamiento de la clorofila *a* es distinto al de los otros focos, debido a que se observan dos máximos y dos mínimos. El primer máximo se presenta en mayo y el segundo en noviembre, el primer mínimo en febrero y el segundo en agosto.

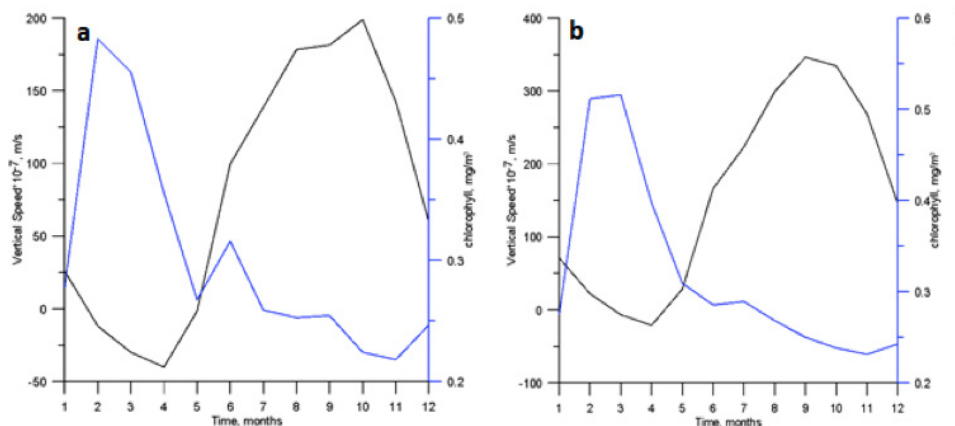


Figura 15. Oscilación anual de V_z y de clorofila *a* en el foco 1: 83°-84° W y 1° 30'-2° 30' N y foco 2: 81°-82° W y 1° 30'-2° 30' N

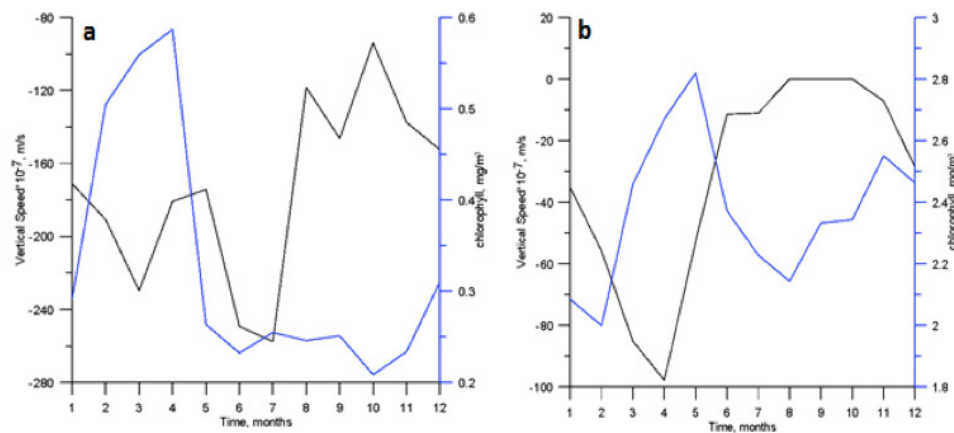


Figura 16. Oscilación anual de V_z y de clorofila a en el foco 3: 82°-83° W y 2° 30'-3° 30' N y en la zona costera: 6° 30' y 2° N

Los resultados de la correlación canónica presentan para el foco 1 un coeficiente de correlación igual a 0.54 con un valor p de 0.006. Este coeficiente se obtiene al correlacionar valores de V_z del punto 2° N y 83° W y los valores de clorofila a de tres puntos (1: 2° N-83° W; 2: 2° N-83° 30' W y 3: 2° N-84° W). Para el foco 2 el coeficiente de correlación canónica fue de 0.82 con un valor p 0.007. La correlación fue realizada con V_z y clorofila a de 8 puntos (1: 1° 30' N-81° W; 2: 1° 30' N-81° 30' W; 3: 2° N-81° W; 4: 2° N-81° 30' W; 5: 2° N-82° W; 6: 2° 30' N-81° W; 7: 2° 30' N-81° 30' W y 8: 2° 30' N-82° W). Para el foco 3 el coeficiente de correlación fue de 0.9 con un valor p de 0.01. La correlación fue realizada con V_z y clorofila a de 9 puntos (1: 2° 30' N-82° W; 2: 2° 30' N-82° 30' W; 3: 2° 30' N-83° W; 4: 3° N-82° W; 5: 3° N-82° 30' W; 6: 3° N-83° W; 7: 3° 30' N-82° W; 8: 3° 30' N-82° 30' W y 9: 3° 30' N-83° W).

Para la región de la costa no se obtuvieron resultados significativos, esto puede ser debido a la complejidad de los procesos que se observan cerca de esta, como la influencia de los ríos y el calentamiento y enfriamiento rápido de las aguas someras.

DISCUSIÓN

La descripción del campo de vientos en la región del Panamá Bight realizada en el presente trabajo es coherente con la realizada por Rodríguez-Rubio (2003), quienes también utilizaron datos satelitales. Por otra parte, guarda relación con los resultados del análisis realizado por Devis *et al.* (2008), en el cual se

explica el efecto del viento sobre la dinámica oceánica en la CPC, allí, el patrón de circulación en la región del Panamá Bight pasa de ser ciclónico en la época de invierno a ser anticiclónico durante el verano debido a que en la primera temporada mencionada el Jet de Panamá (patrón de viento que se presenta en este período), es el que predomina sobre el área de estudio, mientras que en la segunda el que lo hace es el Jet del Chocó. Estos cambios que describe Devis *et al.* (2008) son causados justamente por el aquí descrito desplazamiento de la ZCIT sobre la región que al migrar de sur a norte y de norte a sur a lo largo del año, va modificando la magnitud y dirección de viento y por consiguiente las demás variables asociadas como el esfuerzo del viento o su correspondiente rotacional.

Por su parte la dinámica de las zonas de surgencia, también explicada en detalle en los trabajos de Díaz *et al.* 2008 y 2009, corresponde con los análisis de Rodríguez *et al.* (2002), Devis *et al.* (2008) y Giraldo *et al.* (2008), autores que describen características de la estructura termohalina concluyendo que durante el período de invierno hay un ascenso de la termoclina y luego en época de verano un descenso. Este comportamiento descrito es congruente con los resultados de surgencia mostrados mes a mes en el presente trabajo. La diferencia principal radica en que la variable utilizada para determinar las zonas con afloramiento en este caso se trató directamente de la velocidad vertical de surgencia y en el caso de los demás trabajos se han utilizado principalmente variables como el bombeo de Ekman que si bien dan

cuenta de un proceso físico similar, son calculadas de forma distinta.

La superposición de la velocidad vertical de surgencia y los valores de clorofila *a* (figuras 2 a 13) muestran que una concentración alta a lo largo de la costa del Pacífico colombiano, coincide con las zonas de surgencia encontradas en este sector. Desde enero la clorofila *a* empieza su expansión en la parte central del CPC y esto se registra hasta el mes de abril (figuras 2 a 5). De acuerdo con estudios en aguas panameñas (Wooster 1959; Wyrski 1965; Smayda 1966; Stevenson *et al.* 1970), existe una gran zona de surgencia en el golfo de Panamá situada entre los 7° y 9° N con temperaturas relativamente bajas y salinidades altas, que influye en las aguas de la CPC. Este afloramiento ocurre principalmente en los primeros meses del año y su acción se debilita anualmente a partir de mayo. En este mes (figura 6) se ve una notable disminución de clorofila *a* en el centro de la CPC y una disminución de la parte central de la zona de surgencia. De junio hasta diciembre no se ven concentraciones altas de clorofila *a* (figuras 7 a 13). En general, se observa que la distribución de la concentración de clorofila *a* en los meses vistos es similar a la distribución de las zonas de surgencia resultante de los cálculos de Vz.

Los cálculos de Vz y la determinación de zonas de surgencia realizados en el presente trabajo son una aproximación de lo que se podría ver mes a mes en la CPC y sirven como referencia para la continuación de esta investigación con el aumento de información inicial. Pero es necesario tener en cuenta que, en primer lugar, los cálculos de Vz se han hecho con valores promedio mensuales de temperatura y salinidad del mar, y en segundo lugar, la información de clorofila *a* no es representativa para el período de cálculos de Vz. Lo anterior, permite sugerir que se realice esta investigación con datos de temperatura y salinidad del mar en un período más corto (semanas) para el cálculo de Vz y su comparación con clorofila *a* del mismo período no solo provenientes de imágenes satelitales sino también con valores *in situ*, aumentando al análisis de concentración de oxígeno disuelto y de nutrientes. Aunque ya se han realizado trabajos similares ha sido para períodos de tiempo cortos pero dichos resultados son la base para continuar investigando en esta dirección (2002). Esto permitiría obtener una representación completa de las zonas de productividad por surgencias.

También sería interesante efectuar un seguimiento de características oceanográficas de corrientes (velocidad, dirección, temperatura, salinidad) como la Corriente Ecuatorial del Norte, la Contracorriente Ecuatorial, la Corriente Ecuatorial del Sur, la Corriente del Golfo de Panamá, la Corriente de Colombia y la Contracorriente Subsuperficial de Cromwell, para definir si son estas las que influyen en el desplazamiento de clorofila *a* en la CPC. Algunos trabajos que también describen procesos físicos coherentes con los expuestos e involucran adicionalmente variables como corrientes, gradientes verticales de temperatura y oleaje, son los realizados recientemente por Devis *et al.* (2014), Osorio *et al.* (2014) y Portilla *et al.* (2015), quienes han hecho uso especialmente de modelos oceánicos regionales para evaluar aspectos hidrodinámicos de la CPC y las posibilidades de obtener energías renovables.

CONCLUSIONES

La distribución e intensidad de ascensos de agua en la CPC está de acuerdo con la migración de la ZCIT. En la CPC se observan zonas de surgencia durante todo el año. La mayor extensión de estas zonas se aprecia en los primeros meses, especialmente entre marzo y abril. En mayo las zonas de afloramiento empiezan a disminuir y son menores entre agosto y octubre. Los focos de surgencia durante los primeros meses del año tienen mayor intensidad en el sector sur, suroeste y central de la CPC. De agosto a octubre se concentran en el centro al este de la CPC, en noviembre y diciembre empiezan nuevamente a distribuirse hacia el sur y ampliamente sobre la CPC. En el área costera se detectan leves zonas de surgencia. Durante el año climático la clorofila *a* se observa en todos los meses con alta concentración a lo largo de la costa del CPC, lo cual coincide con las zonas de surgencia encontradas en este sector. La distribución de clorofila *a* tiene semejanza con la distribución de las zonas de surgencia. En mayo hay disminución de clorofila *a* y de la zona de surgencia en el centro de la CPC. De junio a diciembre no se ven concentraciones altas de clorofila *a*.

REFERENCIAS

- Devis, A., García, I., Málikov, I., & Villegas, N. (2002). *Compilación oceanográfica de la Cuenca Pacífica Colombiana*. CCCP, Bogotá, Colombia.

- Devis-Morales, A., Schneider, W., Montoya-Sánchez, R., & Rodríguez-Rubio, E. (2008). Monsoon-like winds reverse oceanic circulation in the Panama Bight. *Geophysical Research Letters*, 35(20), 1-6, doi: <http://dx.doi.org/10.1029/2008GL035172>
- Devis-Morales, A., Montoya-Sánchez, R. A., Osorio, A. F., & Otero-Díaz, L. J. (2014). Ocean thermal energy resources in Colombia. *Renewable Energy*, 66, 759-769.
- Díaz, D., N. Villegas & Málikov, I. (2008). Descripción de los ciclos de ascenso de las aguas de la Cuenca del Pacífico Colombiano durante el año y su relación con factores meteorológicos asociados con zona de convergencia intertropical. *Revista Institucional Universidad Tecnológica del Chocó: Investigación, Biodiversidad y Desarrollo*, 27(2), 200-206.
- Díaz, D., Villegas, N., & Malikov, I. (2009). Clorofila, características de las zonas de surgencia de la Cuenca del Pacífico Colombiano y su relación con la Zona de Convergencia Intertropical. *Boletín Científico CIOH*, 26(1), 59-72.
- Giraldo, A., Rodríguez-Rubio, E., & Zapata, F. (2008). Condiciones oceanográficas en isla Gorgona, Pacífico oriental tropical de Colombia. *Latin American Journal of Aquatic & Research*, 36(1), 121-128.
- NOAA. (sf). Datos de clorofila *a* del programa Griddap. Disponible en: <http://coastwatch.pfel.noaa.gov/erddap/griddap/index.html>.
- NASA. (sf). Datos de clorofila *a* del NASA's OceanColor Web. Disponible en: <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/desde>
- NCAR. National Center for Atmospheric Research. (sf). Valores de velocidad del viento. Disponible en <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/reanalysis/reanalysis.shtml>.
- Osorio, A. F. A., Peláez-Zapata, D. S., Guerrero-Gallego, J., Álvarez-Silva, O., Osorio-Cano, J. D., Toro, F. M., & Giraldo, A. (2014). Hydrodynamics applied to the management and conservation of marine and coastal ecosystems: Gorgona Island, Colombian Pacific Ocean. *Revista de Biología Tropical*, 62, 133-147.
- Portilla, J., Caicedo, A. L., Padilla-Hernández, R., & Cavaleri, L. (2015). Spectral wave conditions in the Colombian Pacific. *Ocean Modelling Ocean*, 92, 149-168.
- Rodríguez-Rubio, E., & Stuardo, J. (2002). Variability of photosynthetic pigments in the Colombian Pacific Ocean and its relationship with the wind field using ADEOS-I data. *Journal of Earth System Science*, 111(3), 227-236.
- Rodríguez-Rubio, E., Schneider, W., & Abarca del Río, R. (2003). On the seasonal circulation within the Panama Bight derived from satellite observations of wind, altimetry and sea surface temperature. *Geophysical Research Letters*, 30(7), 227-236.
- Smayda, T. (1966). A quantitative analysis of the phytoplankton of the gulf of Panamá 3. General ecological conditions and the phytoplankton dynamics at 80° 45' N, 79° 23' W, from November 1954 to May 1957. *Inter-Amer. trop. Tuna Comm. Bull*, 11(5), 353-612.
- Stevenson, M., Guillen, G. & Santorode y Caza J. (1970). *Marine atlas of the Pacific coastal waters of South America*. Berkeley, Univ. Calif. Press. 23 p.
- Villegas, N. (1997). Estudio del movimiento de las aguas en la región este de la Cuenca del Pacífico Colombiano. *Boletín CCCP*, 6, 71-80.
- Villegas, N. (1997a). Movimiento vertical de las aguas en el Pacífico colombiano durante junio y octubre de 1996. *Boletín CCCP*, 6, 81-93.
- Villegas, N. (2001). Estructura vertical de las aguas en la Cuenca del Pacífico Colombiano – Mayo 2000. *Informe CCCP*, 72 p.
- Villegas, N., & Málikov, I. (2006). Modelación de la estructura dinámica de las aguas de la Cuenca del Pacífico Colombiano. *Boletín CCCP*, 13, 97-114.
- Villegas, N., & Málikov, I. (2008). Software aplicativo para el cálculo de corrientes verticales de la Cuenca del Pacífico Colombiano: Estructura Vertical de las Aguas EVA. V.1. Universidad Nacional de Colombia. Certificado de registro de soporte lógico. Dirección Nacional de Derechos de Autor. Libro 13. Tomo 20. Partida 210.

Villegas, N., & Málikov, I. (2009). *Atlas de las características termohalinas y dinámicas de las aguas de la Cuenca del Pacífico Colombiano con base en simulación matemática*. Universidad Nacional de Colombia. Unibiblos. 218 p.

Wooster, W. (1959). Oceanographic observations in the Panama Bight "Askoy Expedition", 1941. *Amer. Mus. Nat. Hist. Bull.*, 118(3), 115-151.

Wyrski, K. (1965). Oceanographic observations in the Panamá bight. "Askoy" Expedition, 1941. *Amer. Mus. Nat. Hist., Bull.*, 118(3), 113-152.